*Journal of Radiation Industry* 12(3) : 193~198(2018)

# 전자선 조사가 발아현미 분말의 품질에 미치는 영향

양 명 순[1,*]

[1]한국폴리텍대학 서울강서캠퍼스 식품조리학과

# Affect of Electron Beam Irradiation on Quality Properties of Germinated Brown Rice Flour

Myoung-Soon Yang[1,*]

[1]*Department of Food & Cooking, Seoul Kangseo Campus of Korea Polytechnic College, 112, Ujangsan-ro 10-gil, Gangseo-gu, Seoul 07684, Republic of Korea*

**Abstract - This study was conducted to evaluate effects on reduction of harmful microorganisms contaminated and changes of $\gamma$-aminobutyric acid (GABA) and $\beta$-sitosterol in germinated brown rice flour by electron beam (EB) irradiation. Germinated brown rice sprouts with 2 mm length were separated, dried and ground for manufacturing flour. The flour was divided to 6 portions and EB-irradiated within the absorbed dose of 1, 2, 3, 4 or 5 kGy. Non-irradiated one was used as control. EB irradiation could reduce the numbers of *Escherichia coli* O157 : H7, *Salmonella typhimurium*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococus aureus* and *Bacillus cereus*. Data from $D_{10}$ values of microflora also indicated that EB irradiation of 5 kGy could reduce the number of the harmful microorganisms. GABA was not affected by EB irradiation, but $\beta$-sitosterol was affected and the content decreased. The results appeared that EB irradiation can apply to eliminate the harmful microorganisms contaminated in germinated brown rice sprout for use to processed foods as raw material.**

**Key words : Germinated brown rice flour, Microorganisms, GABA, $\beta$-sitosterol, Electron beam irradiation**

## 서 론

현미는 거친 식감과 낮은 소화 흡수율로 인하여 종종 발아하여 섭취한다. 발아 과정에서 단단한 조직이 연화되어 식감과 식미가 좋아지게 된다(Oh 2002). 또한, 발아과정에서 생리활성이 우수한 $\gamma$-aminobutyric acid(GABA), $\beta$-sitosterol, ferulic acid, tocotrienols, $\gamma$-oryzanol 등의 유용성분이 급격히 생성되고(Kim *et al*. 2001), 식이섬유, 효소, 마그네슘 및 아연 등의 함량도 증가한다고 보고되었다(Kim *et al*. 1998). 이 중 GABA는 소화촉진, 혈액순환 개선, 신진대사 작용을 도와주어 당뇨병, 고혈압, 고지혈증을 개선으로 인한 비만 등 성인병 예방에 효과가 있고(Choi *et al*. 2004; Oh 2007; Jung *et al*. 2008), 청소년기의 성장발육, 기억력과 학습효과를 향상시키는 효과(Lee *et al*. 2009; Lim and Kim 2009)가 있다고 보고되었다. $\beta$-sitosterol은 고등식물에 풍부하게 존재하는 phytosterol의 일종(Gupta *et al*. 1980)으로 대장암 억제, 항염증 효과, 면역증강 효능이 있는 것으로 알려져 있다(Kahn *et al*. 1991).

이러한 효능으로 인해 발아현미의 수요가 급증하여 새싹채소, 분말, 발아현미밥 등의 가공형태로 이용되고 있다(Soriano *et al*. 2000; Kang *et al*. 2003). 발아현미는 낮은 저

* Corresponding author: Myoung-Soon Yang, Tel. +82-2-2186-5911, Fax. +82-2-2186-59192, E-mail. dddd57@hanmail.net

장성으로 인하여 건조하여 저장 유통하는 데 적절한 위생화 과정을 처리하지 않으면 심각한 식중독을 일으키는 원인이 될 수 있다(Bae *et al*. 2011). 발아현미를 곡류 가공품으로 사용하기 위해서는 분말로 제조하는 과정이 필수적이다. 새싹채소 등 발아식품에서 감균하는 방법은 종자나 새싹을 에탄올, 차염소산나트륨, 유기산 용액 등에 침지하는 침지법이 고려되어 왔으나(Cho and Park 2012; Kim *et al*. 2016), 실용화에는 아직도 많은 연구가 필요하다.

한편, 식품조사 기술은 비가열 살균법으로서 곡물, 향신료 등의 분말제품의 감균과 제균에 용이하게 적용할 수 있는 기공기술이다(Thayer 1990; IAEA 2006). 국제식품규격위원회(CODEX)와 한국 정부(KFDA)는 곡물분말에 대해 10 kGy의 최대 허용선량 범위에서 감마선, 전자선, X-선 조사를 허가하고 있다(FAO/WHO 2003; KFDA 2017). 그러나, 국내에서는 아직까지 발아현미 분말에 대한 식품조사 기술이 상업적으로 이용되지 않고 있다. 이전 연구에서 Kim (2017)은 감마선 조사가 발아현미 분말의 미생물 감균과 유용성분의 변화에 대해 보고하였다. 식품조사 기술이 발아현미분말에 상업적으로 적용하기 위해서는 이러한 연구가 다양하게 시도되어야 한다. 따라서, 본 연구에서는 발아현미 분말의 미생물 제어를 위한 식품조사 기술의 실용화를 위한 기초자료를 확보하고자 Kim (2017)이 수행한 감마선 조사의 방법을 준용하여 전자선 조사를 실시하여 그 결과를 감마선 조사의 결과와 비교하였다. 이를 위해 발아현미를 분말로 제조하여 전자선을 조사한 후 분말에 오염되어 있는 부패 및 식중독을 일으킬 수 있는 세균과 주요한 식중독 세균 5종(*Escherichia coli* O157 : H7, *Salmonella typhimurium, Listeria monocytogenes, Staphylococus aureus, Bacillus cereus*)에 대한 사멸 효과를 평가하였고, 유용 성분인 GABA과 $\beta$-sitosterol의 함량변화를 관찰하였다.

## 재료 및 방법

### 1. 실험 재료 및 시약

발아현미 가루에 대한 감마선 조사와 전자선 조사와의 결과를 비교하기 위해 실험에 사용한 재료 및 시약과 실험 방법 등은 Kim (2017)의 보고한 자료에 부합하도록 하였다. 즉, 발아현미는 발아현미 가공 전문업체인 (주)미실란에서 30°C, 24시간 동안 발아시킨 현미를 사용하였다. 싹의 길이가 약 2 mm 정도 되는 발아현미를 선별하여 물기를 뺀 후 1,000 g을 롤러 간격을 0.5 mm로 맞춘 분쇄기로 1차 분쇄하고 증류수 200 ml을 보충하여 롤러의 간격을 0.01 mm로 맞추어 곱게 2차 분쇄하였다. 발아현미 분말을 멸균한 Low density polyethylene (LDPE) 봉지에 넣어 5 mm 이하의 두께가 되도록 포장한 다음 밀봉한 후 전자선을 조사하였다. 실험에 사용한 표준 GABA와 $\beta$-sitosterol은 Sigma Chemical Co. (St. Louis, MO, USA)에서 구입하여 사용하였다. 미생물용 배지 및 분석시약 등은 특급을 사용하였다.

### 2. 전자선 조사

발아현미 분말시료에 대한 전자선 조사는 electron beam accelerator (model ELV-8, 2.5 MeV, Eb-Tech Co. ltd, Daejeon, Korea)를 이용하였다. Polyethylene bag에 미리 준비한 발아현미 분말 500 g을 넣고 진공포장하였다. 포장 후 시료의 두께는 약 2 cm였다. 전자선 조사는 가속전류 5 mA, 컨베이어의 속도 10 m·min$^{-1}$의 선량률로 1, 2, 3, 4 및 5 kGy의 흡수선량을 얻도록 윗면과 뒷면을 각각 1회씩 조사하였다. 조사는 상온에서 실시하였으며, 흡수선량은 cellulose triacetate (CTA) dosimeter로 확인하였다.

### 3. 오염 미생물의 정량적 분석

시료의 일반 미생물의 정량적 분석은 Bae *et al*. (2011)의 방법을 준용하여 실시하였다. 전자선을 조사하기 전에 발아현미 분말에 오염된 미생물을 측정하기 위해 무균 봉지에 각각의 분말시료를 무균적으로 취한 후 하기 미생물 시험에 사용하였다. 시료 25 g을 정량한 후 buffered pepton water (Difco Laboratories, Detroit, MI, USA) 225 ml이 담긴 멸균 stomacher bag에 넣어 10배 희석한 후 stomacher (BagMixer® 400, Interscience, Breteche, France)를 이용하여 2분간 균질화 하였다. 균질된 시료는 9 ml의 buffered peptone water (Difco)를 이용하여 10배씩 연속 희석하였다. 총균수의 측정을 위해서 각각의 희석된 시료 1 ml을 petrifilm aerobic count plate (3M, Seoul, Korea) 위에 분주하여 30°C에서 24~48시간 배양하였으며, 배양 후 petrifilm 위에 형성된 균체(colony)를 계수하여 colony forming unit (CFU)·g$^{-1}$으로 나타내었다. 또한 대장균군 및 대장균의 정량적 분석을 위해서 petrifilm *E. coli*/coliform count plate (3M)에 위에서 준비한 시료 1 ml을 분주하여 37°C에서 24~48시간 배양하였다. 배양 후 기포를 가진 파란색 균체를 대장균 양성으로, 기포를 가진 붉은색 균체와 기포를 가진 파란색 균체를 대장균군 양성으로 간주하여 계수하였다. 효모 및 곰팡이의 정량적 분석을 위해서는 petrifilm yeast/molds count plate (3M)에 위에서 준비한 시료 1 ml을 분주하여 37°C에서 24~48시간 배양하였다. 배양 후 녹색의 균체를 효모 및 곰팡이의 양성으로 간주하여 계수하였다.

### 4. 유해세균 오염도 분석 및 동정

전자선 조사선량 당 발아현미 분말시료 5개를 준비하여

각각의 시료들에 오염되어 있는 병원성 미생물은 총 5종(*E. coli* O157 : H7, *S. typhimurium, L. monocytogenes, S. aureus, B. cereus*)에 대하여 조사하였으며, 병원성 미생물을 분리하는 방법은 *E. coli* O157 : H7의 경우 식품공전법(KFDA 2017)을 이용하였고, 나머지 균들은 미국 FDA Bacterial Analytical Manual (US FDA 2009)을 이용하여 검사하였다. 동정은 각각의 선택배지에 전형적인 균체를 선택하여 API kit (BioMérieux, Marcy I'toile, France)를 사용하여 동정하였다. 각각의 병원성 세균의 선택배지는 호기성 환경에서 배양하였다.

### 5. GABA 및 β-Sitosterol 함량 분석

GABA 분석은 Oh *et al.* (2014)의 방법을 이용하여 아미노산 자동분석기(Biochrom 30, Pharmacia Co. USA)를 이용하였다. 즉, 분쇄한 시료 200 mg을 정확히 칭량하여 증류수 2 ml을 첨가하고 상온에서 24시간 추출 후, 원심분리하여 상등액만을 취하여 0.45 μm membrane filter (Merck Milipore, Germany)로 여과하였다. 시료 200 μl와 Lithium citrate loading buffer 800 μl를 혼합하여 분석시료로 사용하였다. 분석을 위한 칼럼은 Lithium column (25 cm × 0.46 cm I.D., 5 μm particle size, Sigma Aldrich, USA)을 이용하여 용매인 Lithium citrate buffer를 사용하였다. Table 1은 아미노산 분석기의 용매 gradient 조건을 나타내고 있다. 분석조건은 용매 유속 25.0 ml·hr$^{-1}$이며 검출을 위한 발색시약은 ninhydrin 용액을 사용하여 570 nm 및 440 nm에서 흡광도를 측정하였다.

전자선 조사에 의한 β-Sitosterol 함량의 변화는 Park *et al.* (2010)의 방법을 준용하여 gas chromatography 분석법으로 측정하였다. 감압 건조하여 분쇄한 시료 1.0 g을 칭량하여 33% KOH 1.0 ml, ethanol 9.0 ml, ISTD 1.0 ml을 가한 후 80°C로 고정한 waterbath에서 1시간 동안 가온한 후 실온에서 방랭하고 증류수 5 ml, haxane 10 ml을 가해 혼합한 후 정치하여 극성과 비극성층을 분리시켰다. 상층을 조심스럽게 분리한 후 탈수하여 0.45 μm fillter로 여과하여 시험용액으로 사용하였다.

**Table 1.** Gradient condition* of Lithium citrate buffer into high liquid performance chromatography for analysis of γ-aminobutyric acid (unit: %)

| Time (min) | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| A (0.01 M, pH 2.0) | 100 | 70 | 50 | 0 | 0 | 0 |
| B (0.02 M, pH 2.0) | 0 | 30 | 50 | 0 | 0 | 0 |
| C (0.02 M, pH 3.5) | 0 | 0 | 0 | 50 | 30 | 0 |
| D (0.04 M, pH 3.5) | 0 | 0 | 0 | 50 | 70 | 100 |

*This gradient condition was applied with the procedure developed into Kim (2017)'s report.

### 6. 통계처리

실험 결과값들은 SAS통계프로그램(version 9.1, SAS Institute, Cary, NC, USA)의 ANOVA procedure을 이용하여 분석되었다. 각각의 처리군이 통계적인 유의차를 나타내는 경우에($p \leq 0.05$) 각각의 5반복 실험에 의한 평균값은 Duncan's multiple range test를 이용하여 산출하였다.

## 결과 및 고찰

### 1. 오염 미생물 감균 효과

전자선 조사에 의한 발아현미 분말에 오염되어 있는 미생물의 감균에 대한 결과는 Table 2에 나타냈다. 총호기성세균(Total aerobic bacteria)은 6.48 log CFU·g$^{-1}$, 대장균군(Coliform bacteria)은 3.32 log CFU·g$^{-1}$, 대장균(*E. coli*)은 1.45 log CFU·g$^{-1}$, 효모와 곰팡이류(Yeast/Mold)는 1.75 log CFU·g$^{-1}$ 수준으로 각각 검출되었다. Solberg *et al.* (1990)은 급식업소에서 음식의 미생물적 안전 기준치를 총균수 5.0 log CFU·g$^{-1}$ 이하, 대장균수 3.0 log CFU·g$^{-1}$ 이하로 제시하고 있다. 일반적으로 곡물과 그 분말에 대한 방사선 조사는 해충 구제와 오염된 미생물을 감균하기 위해서 사용한다(Thayer 1990). 이 결과는 Kim (2017)이 보고한 미생물 수준과 매우 유사하여, 본 연구에서 수행하는 감마선 조사와 전자선 조사의 비교에 활용하기에 적절한 시료라고 판단되었다.

전자선 조사에 의해 발아현미 분말에 오염되어 있는 총

**Table 2.** Averages (log CFU·g$^{-1}$)[a] of microorganisms determined from electron beam-irradiated germinated brown rice flour

| Microorganism | Irradiation dose (kGy) | | | | | | $D_{10}$ value |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |
| Total aerobic bacteria | 6.48 ± 0.76$^{A}$ | 6.27 ± 0.45$^{A}$ | 5.62 ± 0.96$^{AB}$ | 5.28 ± 1.14$^{B}$ | 4.47 ± 0.62$^{BC}$ | 3.64 ± 0.86$^{C}$ | 1.75 |
| Coliform bacteria | 3.32 ± 0.89$^{A}$ | 3.09 ± 0.67$^{A}$ | 2.17 ± 1.03$^{AB}$ | 1.24 ± 0.74$^{A}$ | NG | NG | 1.30 |
| *Escherichia coli* | 1.45 ± 0.75 | 0.84 ± 0.65 | NG[b] | NG | NG | NG | 1.37 |
| Yeast/Molds | 1.75 ± 0.68$^{A}$ | 1.36 ± 1.02$^{A}$ | 0.34 ± 0.42$^{AB}$ | NG | NG | NG | 1.59 |

[a]Data represent means ± standard deviations of five measurements.
[b]NG: Non growth on plate
$^{A-C}$Means with the different letter within a row are significant differences ($p > 0.05$).

호기성 세균, 대장균군, 대장균, 효모 및 곰팡이 수는 감소하였다. 총 호기성 세균의 경우, 3 kGy 전자선 조사에서 5.28 log CFU·g$^{-1}$로 감소되어 약 1 log cycle이 감소되는 것으로 나타났다. 5 kGy 전자선 조사에서 3.64 log CFU·g$^{-1}$을 나타내어 전자선 조사에 의한 $D_{10}$ 값은 1.75로 산출되었다. 대장균군은 1 kGy 조사구에서 3.09 log CFU·g$^{-1}$, 2 kGy 조사구에서 2.17 log CFU·g$^{-1}$, 3 kGy에서 1.24 log CFU·g$^{-1}$을 나타내었고 4 kGy 이상의 선량에서는 생육이 관찰되지 않았다. 이때의 $D_{10}$ 값은 1.30으로 산출되었다. 대장균은 2 kGy 이상의 선량에서는 검출되지 않았는데, 1 kGy 조사구에서 0.84 log CFU·g$^{-1}$을 나타내었고, $D_{10}$ 값은 1.37로 나타났다. 효모와 곰팡이군은 1 kGy에서 1.36 log CFU·g$^{-1}$, 2 kGy에서 0.34 log CFU·g$^{-1}$을 나타내었는데, 이때 $D_{10}$ 값은 1.59로 그람음성세균인 대장균군보다는 다소 높게 나타났다. 감마선 조사에 의한 발아현미 분말의 미생물 감균 효과와 매우 유사한 결과(Kim 2017)를 나타내었으며, 다른 연구보고와도 비슷한 경향을 나타내었다(Han *et al*. 2011; Park *et al*. 2014). 전자선 조사는 감마선 조사와 미생물 감균에서 큰 차이가 없음을 확인할 수 있었다.

### 2. 유해세균 오염도 분석 및 동정 결과

API kit법을 이용하여 전자선 조사한 발아현미 분말에서 생육하는 5가지 주요 병원성 미생물에 대한 동정을 실시하였다(Table 2). 전자선을 조사하지 않은 시료 5개에 대한 5종의 병원성 미생물의 생육을 측정한 결과, *L. monocytogenes*는 처리구 4개에서 생육이 발견되었고, *S. aureus*와 *B. cereus*는 각각 3개의 처리구에서, *E. coli* O157 : H7과 *S. typhimurium*은 각각 1개의 시료에서 발견되었다. 이 결과는 Kim (2017)이 보고한 결과와 매우 유사하여 병원성 미생물 사멸 효과 시험시료로 적합함을 알 수 있었다. Lee *et al*.(2004)은 쌀과 쌀가루에 대한 미생물 오염조사 결과, 대장균이 60.8% 검출되었으며, *E. coli*가 17건, *S. aureus*가 3건, *Salmonella* spp.가 각각 1건씩 검출되었다고 보고하였다. 비가열 채소류의 병원성 오염도를 관찰한 다른 연구의 경우 치커리에서 *S. aureus*와 *B. cereus*가 22% 수준으로 가장 많이 검출되었으며, *B. cereus*는 쑥갓에서도 많이 검출되었다(Jung *et al*. 2006). 또한 Han *et al*.(2011)의 쌀가루의 미생물 오염 조사 연구에서는 *S. aureus*가 4건 검출되었으며, *S. ariazona*가 1건의 채소에서 검출되었다. 신선 농식품은 일반적으로 가열하지 않고 직접 신선한 상태로 섭취하기 때문에 병원성 미생물에 오염되어 있을 경우 식중독을 일으킬 수 있다(Bae *et al*. 2011). Table 3에서 보는 바와 같이 *E. coli* O157 : H7은 1 kGy의 전자선 조사에서도 불검출된 반면, *B. cereus*는 5 kGy의 전자선 조사된 1개의 처리구에서도 생육이 관찰되어 완전 제거를 위해서는 더 높은 선량이 요구됨을 알 수 있었다. *S. typhimurium*은 2 kGy, *L. monocytogenes*와 *S. aureus*는 3 kGy의 흡수선량에서 생육이 관찰되지 않았다. 이 결과는 Kim (2017)이 보고한 감마선 조사한 발아현미 분말에 대한 병원성 미생물의 감균 효과와도 일치하는 것으로 전자선 조사가 발아현미 분말의 미생물적 위생화에 이용될 수 있음을 시사한다.

**Table 3.** Numbers of positive samples for pathogenic contamination of each five brown rice sprout sample electron beam-irradiated with the same absorbed dose

| Microorganism | Irradiation dose (kGy) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| *Escherichia coli* O157 : H7 | 1 | ND[a] | ND | ND | ND | ND |
| *Salmonella typhimurium* | 1 | 1 | ND | ND | ND | ND |
| *Listeria monocytogenes* | 4 | 4 | 3 | 2 | ND | ND |
| *Staphylococus aureus* | 3 | 3 | 2 | 1 | ND | ND |
| *Bacillus cereus* | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | 1 |

[a]Not detected.

### 3. GABA 및 $\beta$-Sitosterol 함량 변화

전자선 조사가 발아현미 분말에 함유된 GABA의 함량에 미치는 영향을 시험한 결과, 발아현미 분말에 함유된 GABA는 5 kGy 이하의 전자선 조사에서는 영향을 받지 않는 것으로 나타났다(Table 4). 발아현미 분말의 GABA 함량은 비조사구에서 0.574 μg·g$^{-1}$의 농도로 이전 보고(Ko *et al*. 2011; Oh *et al*. 2014)와 유사한 함량을 나타났고, 1 kGy에서 0.576 μg·g$^{-1}$, 2 kGy에서 0.571 μg·g$^{-1}$, 3 kGy에서 0.582 μg·g$^{-1}$, 4 kGy에서 0.573 μg·g$^{-1}$, 5 kGy에서 0.569 μg·g$^{-1}$으로 검출되어 전자선 조사선량이 증가하여도 GABA 함량은 변화가 없는 것을 확인하였다. 이 결과는 Kim (2017)이 보고한 감마선

**Table 4.** $\gamma$-aminobutyric acid (GABA) and $\beta$-Sitosterol contents of electron beam-irradiated germinated brown rice sprout flour

| Material | Irradiation dose (kGy) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| GABA | 0.581 ± 0.012 | 0.584 ± 0.014 | 0.593 ± 0.027 | 0.572 ± 0.018 | 0.589 ± 0.013 | 0.576 ± 0.011 |
| $\beta$-Sitosterol | 0.319 ± 0.008$^{A}$ | 0.305 ± 0.014$^{A}$ | 0.297 ± 0.012$^{A}$ | 0.285 ± 0.007$^{AB}$ | 0.265 ± 0.014$^{AB}$ | 0.241 ± 0.021$^{B}$ |

Data represent means ± standard deviations of five measurements.
$^{A-B}$Means with the different letter within a row are significant differences ($p < 0.05$).

조사에 의한 발아현미 분말에 함유한 GABA의 함량변화 연구와 일치하는 결과를 나타내어 이온화 에너지 처리가 발아현미 분말에 함유한 GABA의 함량에는 영향을 주지 않는다는 것을 확인하였다.

전자선 조사선량이 증가함에 따라 $\beta$-Sitosterol의 함량은 점차 감소하였고, 5 kGy 처리구에서는 유의적인 차이가 확인되었다(Table 4). 이 결과는 Kim (2017)이 보고한 감마선 조사의 결과와 매우 유사하였다, $\beta$-Sitosterol은 지방산의 일종으로 이온화 에너지에 영향을 받을 수 있다. 많은 연구들이 지방산의 변화에 대한 이온화 에너지에 영향에 대해 보고하였다(Thayer 1990; IAEA 2006). 이 결과와 같이 $\beta$-sitosterol이 5 kGy의 조사선량에서 함량이 감소한다면 10 kGy 이상의 고선량 조사에서는 더욱 감소할 것으로 사료되어 발아현미와 같은 신선편이 즉석식품에 대한 방사선 조사 적용 시 고려해야 할 것으로 사료된다.

Kim (2017)의 보고를 제외하고는 현재까지 GABA나 $\beta$-Sitosterol에 대한 이온화 방사선 조사에 대한 연구가 없는 실정으로 흡수선량의 폭과 범위에 대한 기본적인 연구 자료의 확보와 다양한 목적의 선량 범위, 예를 들면 10 kGy까지의 위생화 선량과 20~45 kGy 범위의 멸균 선량에서의 유용물질의 영향이 시험되어야 할 것이다.

## 결 론

본 연구는 발아현미 분말의 미생물적 위생화를 위한 전자선 조사기술을 적용하기 위해 실시하였다. 현미를 발아시켜 2 mm 정도 길이 새싹을 건조 분쇄하여 분말로 가공한 후 1, 2, 3, 4, 5 kGy의 흡수선량을 갖도록 전자선을 조사하였다. 총 호기성 세균, 대장균군, 대장균, 효모와 곰팡이의 감균 효과를 시험하였고, *E. coli* O157 : H7, *S. typhimurium, L. monocytogenes, S. aureus, B. cereus*의 사멸 선량을 측정하였다. 또한 현미새싹의 영양성분인 GABA와 $\beta$-sitosterol의 함량 변화를 측정하여 전자선 조사의 적용성을 평가하였다. 전자선 조사에 의해 발아현미 분말에 오염되어 있는 미생물의 생육은 억제되었다. 전자선 조사에 의한 사멸선량($D_{10}$ 값)은 총 호기성 세균이 1.75, 대장균군이 1.30, 대장균이 1.37, Yeast와 Mold가 1.59를 나타냈다. GABA는 5 kGy까지의 전자선 조사에서는 영향을 받지 않았으나, $\beta$-sitosterol은 전자선 조사에 영향을 받는 것으로 나타났다. 이 결과는 국내에서는 아직 상업적으로 이용되지 않고 있는 발아현미 분말에 대한 방사선 조사 사용을 위한 기초자료를 제공한다.

## 참 고 문 헌

Bae YM, Hong YJ, Kang DH, Heu S and Lee SY. 2011. Microbial and pathogenic contamination of ready-to-eat fresh vegetables in Korea. *Korean J. Food Sci. Technol.* **43**:161-168.

Cho SK and Park JH. 2012. Bacterial biocontrol of sprouts through ethanol and organic acids. *Korean J. Food Nutr.* **25**: 149-155.

Choi HD, Park YK, Kim YS, Chung CH and Park YD. 2004. Effect of pretreatment conditions on $\gamma$-amino butyric acid content of brown rice and germinated brown rice. *Korean J. Food Sci. Technol.* **36**:761-764.

Gupta MB, Nath R, Srivastava N, Shanker K, Kishor K and Bhargava KP. 1980. Anti-inflammatory and antipyretic activities of $\beta$-sitosterol. *Planta Med.* **39**:157-162.

Han IJ, Song BS, Lee JW, Kim JH, Choi KS, Park JR and Chun SS. 2011. Effect of irradiation temperature on physicochemical and sensory properties of *Tarakjuk* (Milk Porridge). *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **40**:1307-1313.

International Atomic Energy Agency. 2006. Database on approvals for irradiation food (supplement). *Food Environ. Protect. Newslett.* **9**:21-59.

Jung HY, Lee DH, Baek HY and Lee YS. 2008. Pre- and post germination changes in pharmaceutical compounds of germinated brown rice. *Korean J. Crop Sci.* **53**:37-43.

Jung SH, Hur MJ, Ju JH, Kim KA, Oh SS, Go JM, Kim YH and Im JS. 2006. Microbiological evaluation of raw vegetables. *J. Fd. Hyg. Safety* **21**:250-257.

Kahn MMAA, Jain DC, Bhakuni RS, Mohd Z and Thakur RS. 1991. Occurrence of some antiviral sterols in *Artemisia annua*. *Plant Sci.* **75**:161-165.

Kang MY, Lee YR and Nam SH. 2003. Characterization of the germinated rices to examine an application potentials as functional rice processed foods. *Korean J. Food Sci. Technol.* **35**:696-701.

Kim MJ. 2017. Affects of gamma irradiation on reduction of contaminated microorganisms and useful compounds in germinated brown rice sprout. *J. Radiation Ind.* **11**:235-240.

Kim SL, Son YK, Son JR and Hur HS. 2001. Effect of germination condition and drying methods on physicochemical properties of sprouted brown rice. *Korean J. Crop Sci.* **46**: 221-228.

Kim SS, Kim YK and Lee WJ. 1998. Microwave vacuum drying of germinated brown rice as a potential raw material for enzyme food. *Korean J. Food Sci. Technol.* **30**:1107-1113.

Kim WI, Kim SY, Kim IS, Han S, Kim SR, Yun B, Ryu JG and Kim HJ. 2016. Effects of sample preparation methods for the isolation of foodborne pathogens from sprout seeds. *J. Food Hyg. Saf.* **31**:465-470.

Ko JY, Song SB, Lee JS, Kang JR, Seo MC, Oh BG, Kwak DY, Nam MH, Jeong HS and Woo KS. 2011. Changes in chemical components of Foxtail millet, Proso Millet, and Sorghum with germination. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **40**:1128-

1135.

Korea Food and Drug Administration. 2017. Food code. Available from: http://www.kfda.go.kr.

Lee JH, Oh SK, Cho KM, Seo WD and Choung MG. 2009. Variations in physicochemical properties of brown rice (*Oryza sativa* L.) during storage. *Food Sci. Biotech.* **18**:1398-1403.

Lee YS, Oh SH, Lee JW, Kim JH, Kim JH, Kim KS, Kim WG and Byun MW. 2004. Optimum of gamma irradiation dose for rice-based infant foods with improved energy-density and shelf-life. *Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **33**:894-898.

Lim SD and Kim KS. 2009. Effects and utilization of GABA. *Korean J. Dairy Sci. Technol.* **27**:45-51.

Oh SH. 2007. Effects and application of germinated brown rice with enhanced levels of GABA. *Food Sci. Ind.* **40**:41-46.

Oh SK, Lee JH, Won YJ, Lee DH and Kim CK. 2014. Changes of physicochemical properties according to the shoot length in germinated brown rice. *Korean J. Crop Sci.* **59**:223-229.

Oh YS. 2002. Study on nutritional properties of sprouting brown rice. Kongju Nation Univ. MS Dissertation, Gongju, Korea.

Park JN, Jung K, Yoon YM, Choi SJ, Kim JH, Lee JW and Song BS. 2014. Comparison of the effects of gamma ray, electron beam, and X-ray irradiation to improve safety of black pepper powder. *Korean J. Food Preserv.* **21**:315-320.

Park YH, Lim SH, Ham HJ, Kim HY, Jeong HN, Kim KH and Kim S. 2010. Isolation of anti-inflammatory active substance $\beta$-sitosterol from seabuckthorn (*Hippophae rhamnoides* L.) stem. *J. Korean Soc. Food Sci. Nutr.* **39**:980-985.

Soriano JM, Rico HM, Molto JC and Manes J. 2000. Assessment of the microbiological quality and wash treatments of lettuce served in university restaurants. *Int. J. Food Microbiol.* **58**:123-128.

Thayer DW. 1990. Food irradiation, benefits, and concerns. *J. Food Quality* **13**:147-169.

US Food and Drug Administration. 2009. Bacteriological analytical manual. Available from: http://www.fda.gov.

Received: 17 June 2018
Revised: 6 July 2018
Revision accepted: 16 July 2018